



АНАЛИЗА СО БРЗИ И ТЕРМАЛНИ НЕУТРОНИ ЗА ДЕТЕКЦИЈА НА ЕКСПЛОЗИВИ

Диме Димески¹, Винета Сребренкоска¹, Ѓорѓи Башовски²

Резиме

Експлозивите содржат различни хемиски елементи како што се H, C, N, O. Неутроните заради својата електрична неутралност, имаат способност да пенетрираат низ различни материјали до големи длабочини и да содејствуваат со атомското јадро. Како резултат на тоа содејство се емитираат γ -зраци со карактеристични енергии. Овие γ -зраци се показател за елементарниот состав на даден објект. Со мерење на γ -зраците емитирани со одредена енергија може да се одреди количината на даден елемент во објектот. Со квантитативна споредба на односите C/N или C/O со односите на овие елементи кај експлозивите може да се процени дали даден објект содржи експлозив или не. Во трудов е објаснета техниката за откривање на нагазни мини со помош на пулсирачки, брзи и термални, неутрони.

Клучни зборови: неутрони, експлозиви, γ -зраци

ANALYSE WITH FAST THERMAL NEUTRONS FOR EXPLOSIVES DETECTION

Dime Dimeski¹, Vineta Srebrenkoska¹, Gorgi Bašovski²

Summary

Explosives contain various chemical elements such as H, C, N, O. Neutrons, because they are not charged, have the ability to penetrate through various materials to large depths and to interact with materials nuclei. As a result of the interaction γ -rays with

¹ 11 Октомври-Еурокомполит-Прилеп

² Министерство за Одбрана на РМ

characteristic energies are emitted. These γ -rays are indicator of the chemical composition of the object being subjected to interrogation. By measuring the γ -rays with a specific energy the quantity of a certain chemical element within the object can be determined. By comparison of the ratios C/N and/or C/O with the ratios of these elements with known explosives one can judge if certain object contains explosive or not. In this paper, the techniques of detection of anti-personnel mines by means of pulsed, fast and thermal neutrons, is described.

Key words: neutrons, explosives, γ -rays

1. Вовед

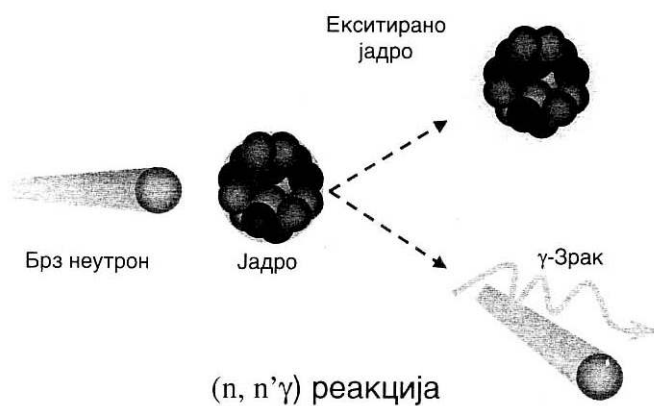
Конфликтите почнуваат и завршуваат но нагазните мини изгледа дека остануваат вечно. Се смета дека во светото има положено околу 100 милиони нагазни мини во околу 70 земји, од кои многу датираат уште од втората светска војна. Меѓународниот црвен крст проценува дека нагазните мини, обично закопани 20-30 см во земја, убиваат или осакатуваат 26000 луѓе секоја година - 80% од нив се цивили, деца, жени, селани. Иако 111 влади го потпишаа договорот на ОН за забрана на нагазните мини, кој стапи во сила во 1999, оваа оружје продолжи да биде користено со алармирачка брзина. Околу 2000 нови мини се положуваат за секоја отстранета. Во ОН сметаат дека и кога положувањето сега би запрело, со сегашниве техники на детекција и отстранување, би биле потребни околу 1000 години да се отстранат веќе положените мини. Отстранувањето на мините - процесот на деминирањето - е опасен и бавен воглавном затоа што секој сомнителен објект (аномалија во земјата) треба да биде идентифициран од човек (деминер) кој треба со метално стапче (сонда) да го расцепка за да се види дали е мина или не. Овај процес е опасен ако објектот е нагазна мина и преставува губиток од 15-45 минути ако не е. Метални детектори и обучени кучиња кои ја сеќават пареата на експлозивите, исто така се користат за деминирање. Но и тие имаат недостатоци. Кучињата не можат да ја откријат точната локација на мината, а металниот детектор реагира на се што е метално на пример на лименка од пијалок или пак на шрапнел. На крајот се се сведува на човечкиот фактор односно на деминерите и нивните сонди.

Меѓутоа новите техники кои се појавуваат во последно време даваат надеж дека оваа ситуација ќе се промени. Тие имаат за задача да го забрзаат процесот на деминирање и да го направат побезбеден. Најнадежни се технологиите кои се базираат на неутрони. Таква една техника е анализата со пулсирачки брзи/термални неутрони или PFTNA (Pulsed Fast/Thermal Neutron Analysis)

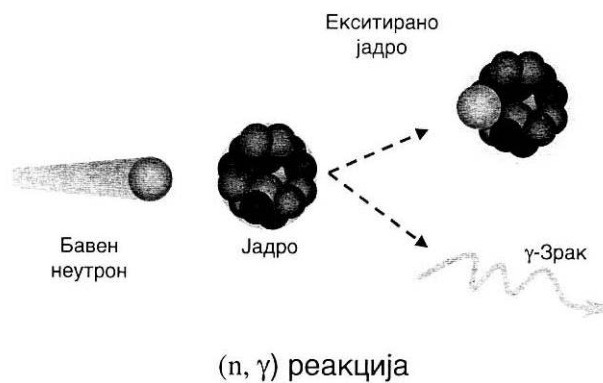
2. Теорија

Неутроните се електрично неутрални честици и затоа можат да реагираат само со јадрата (а не со електроните) на елементите кои се изложени на нивното дејство. Заради краткото растојание на делување на нуклеарните сили дури и неутроните со мала кинетичка енергија можат да пенетрираат длабоко во материјалите. Однесувањето на неутроните воглавном зависи од

својата кинетичка енергија. Во принцип неутронот кој се судира со даден објект може да предизвика една од можните неколку нуклеарни реакции со темиските елементи од кои објектот е составен [1]. Ако се дејствува со брзи неутрони настанува реакција на нееластично растурање што резултира со одбивање на неутроните и емисија на γ -зраци, како што е прикажана на слика 1. Ако се дејствува со бавни неутрони тие бидуваат фатени од јадрата на одредени елементи при што се емитуваат γ -зраци - слика 2. И во двата случаи се емитуваат γ -зраци со карактеристични и строго определени енергии. Овие γ -зраци се како "отисок на прстот" за елементите што се содржат во објектот.



Сл.1. Реакција со брзи неутрони



Сл.2. Реакција со бавни неутрони

Така на пример X емитува γ -зраци со 2.22 MeV, Si со 3.54 MeV, N со 10.8 MeV итн. Со броење на γ -зраците емитувани со дадена специфична енергија може да се одреди количината на хемискиот елементот во даден објект. Во случај да се работи за објект кој е сокриен во други безопасни материјали, идентификацијата се врши преку меѓусебниот однос на хемиските елементи.

Експлозивите како што се TNT, RDX, C-4 а и други, воглавном содржат H, C, N и O. Многу безопасни материјали исто така ги содржат овие исти хемиски елементи, така да само врз база на количината на даден елемент во објектот не може да се процени дали има експлозив или не. Она што е карактеристично за експлозивите е односот на дадените хемиски елементи во нив [4]. Во табелата 1 се дадени дел од тие односи кај познати експлозиви.

Табела 1. Односи на елементите кај некои експлозиви

Експлозив	C/O	N/O
C-4	0.71	1.0
TNT	1.20	0.5
RDX	0.53	1.0

Во зависност од хемиските елементи што се сака да се идентифицираат, потребно е да се користат неутрони со неколку различни енергии. Во повеќето од апликации кои се базираат на неутрони, како извор на неутрони се користат Am-Be и ^{252}Cf . Тие можат да екситираат повеќе хемиски елементи (H, C, S, Fe, и др) преку реакции на фаќање на неутроните. Меѓутоа има елементи како што се C и O на кои им е потребна енергија за неколку MeV поголем од онаа што ја даваат овие радиоактивните извори. За тоа да се задоволи потребен е извор на неутрони кој ќе продуцира високоенергетски неутрони за мерење на елементите како што се C и O, и нискоенергетски (0.025 eV) за елементите како H и Cl. Се покажа [2, 3] дека оваа задача може да се реши со пулсирачки неутронски генератор. Оваа техника се нарекува Анализа со Пулсирачки Брзи/Термални Неутрони (Pulsed Fast/Thermal Neutron Analysis или PFTNA)

Основа на PFTNA е пулсирачкиот генератор на неутрони кој се базира на реакција деутериум-трициум. Тој продуцира неутрони од 14 MeV кои од своја страна можат да иницираат неколку типови на нуклеарни реакции ((n,p' γ), (n,p γ), (n, γ) итн) врз објектот што се испитува. Со помош на соодветни детектори (обично бизмут германит) се детектираат емитуваните γ -зраци.

Додека трае пулсот, спектарот на γ -зраци се состои воглавном од γ -зраци од (n,p' γ) и (n,p γ) реакциите со елементите C и O. Меѓу пулсевите некои од брзите неутрони кои се уште се во објектот губат енергија заради колизија со лесните елементи кои се во објектот. Кога неутроните ќе имаат енергија помала од 1 eV, тие бидуваат фатени од елементите како што се H, N и Fe преку (n, γ) реакциите при што секој од овие елементи зрачи карактеристични γ -зраци.

3. Експеримент

Техниката на PFTNA е искористена кај инструментот PELAN (Pulsed Elemental Analysis with Neutrons). Овај инструмент воглавно се користи за идентификација на дадена аномалија во почвата која е откриена со некоја друг метод пример со детектор на метали. Развиен е од страна на професорот по атомска физика George Vourvopoulos од универзитетот Western Kentucky од САД. Инструментот кој е портабл и тежи само 45 kg, е прикажан на слика 3. Се состои од пулсирачки генератор на неутрони кој користи реакција деутериум-трициум (d-T) за продукција на неутрони од 14 MeV. Генераторот е производ во фирмата Sodern од Франција. Тој е сместен во горниот хоризонтален дел од инструментот. Во долниот хоризонтален дел е сместен детекторот на γ -зраци кој е врз база на бизмут и германит т.н. BGO детектор.



Сл 3. Изглед на инструментот ПЕЛАН

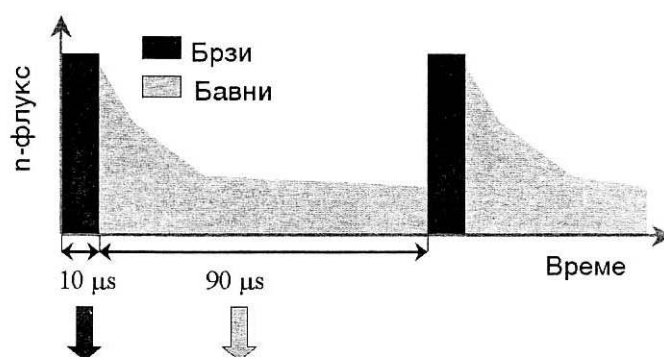
Вертикалната туба меѓу генераторот и детекторот е заштита на детекторот од неутроните. Други составни делови се електричен извор за напојување на генераторот и палм компјутер за водење на експериментот и аквизиција на податоците.

Постапката на мерење почнува со тоа што се прво се врши “снимање” на околината односно на теренот во близина на аномалијата за да се добие слика за наговиот елементарен состав. Потоа мерењето се продолжува на тој начин што инструментот се става непосредно до аномалијата и се зрачи со пулсирачки неутрони во пулсеви од 10 μ s при што се дешаваат реакциите и ефектите прикажани на сл. 4 [5,6]. Оптимално време за едно мерење е 300 s.

Извршени се неколку проби со различни аномалии во почвата и е извршена идентификација. Објектите се закопани околу 5 - 10 cm во земја и е извршено мерење со PELAN од растојание од околу 10 cm од објектот. Добиените резултати се прикажани во табела 2.

Табела 2. Резултати од индивидуалните проби

	C	H	Fe	N	Cl
I проба	3.45	4.81	1.00		
II проба	5.70	6.92	1.00		
III проба	0.22	7.87	1.00		
IV проба	0.98	7.49	4.85	3.06	
V проба		1.86	23.07		6.05
VI проба		10.03	6.01		-7.3
VII проба	0.18	8.19	1.00	3.26	5.31



Реакции	(n,n'γ) (n,pγ)	(n,γ)	Активација (n,α), (n,p)
Гама	Брзи	Брзи	Закаснети
Елементи	C,O	H,S,Cl,Fe,N	O,F,P,Na,Al

Сл.4 Временска секвенца на импулсираниот неутронски генератор

Овие вредности односно, составот на објектот како и односот на елементите во објектот се споредуваат со податоците за можните објекти кои би се нашле во минско поле. Ваква база на податоци е предходно веќе внесена во компјутерот така да обработката на мерењата и резултатите се врши во автоматски мод. Обработката на резултатите ги покажа следниве резултати за природата на испитуваните објекти (Табела 3):

Табела 3. Резултати од испитувањето на објектите

Проба	Објект
I проба	нагазна мина
II проба	нагазна мина (поголема)
III проба	дрво+шајка
IV проба	чевел
V проба	празна мина од минофрлач
VI проба	лименка од пијалок
VII проба	дрво

За објектите кои содржат експлозиви веднаш по обработката на резултатите се појавува опоменувачка порака за опасност.

Заклучок

Техниката на PFTNA е неинтрузивна (испитувањето се врши од растојание од неколку сантиметри) и е недеструктивна бидејќи се работи за многу слаба радијација што ја апсорбира објектот што се испитува. Од друга страна брзината на идентификација (5 мин/аномалија) значи голема заштеда на време и драстично зголемување на времето на чистење на минските полиња. Оваа метода која е релативно нова и е во фаза на тестирање на релни мински полиња, треба и понатаму да се надоградува пред се во зголемувањето на базата на податоци како и во намалувањето на грешките (лажен аларм) кои во оваа фаза на развој се присутни.

Литература

- [1]. E.Hussein, E.Waller. Landmine Detection: The problem and the Challenge. Applied Radiation and Isotopes, Volume 53, pp 557-563, 2000.
- [2]. Claudio Bruschini. Commercial Systems for the Direct Detection of Explosives (for Explosive Ordnance Disposal Tasks). ExploStudy, Final Report, 17.02.2001. <http://diwww.epfl.ch/lami/detec/>
- [3]. G.Vourvopoulos, P.Womble. Pulsed Fast/Thermal Neutron Analysis: A Technique for Explosives Detection. "Talanta" 54 (2001) 459-468. ELSEVIER (2001)
- [4]. C.Bruschini, B.Gros. A Survey of Current Sensor Technology Research for the Detection of Landmines in Demining Technology Center, available at <http://diwww.epfl.ch/lami/detec/susdemsurvey.htm>, October 1996.
- [5]. J.Scikai et al. Application of neutrons to plastic landmines detection. 2nd RCM on Nuclear Demining Techniques - St.Petersburg 11-14 September 2001.
- [6]. P.C. Womble. Detection of Explosives with the PELAN System. CP576, Application of Accelerators in Research and Industry- 16th Int'l Conf. American Institute of Physics (2001)

- [7]. P.Womble et al. "PELAN 2001: Current Status of the PELAN Explosives Detection System". Proceedings SPIE conference on Hard X-Ray and Gamma-Ray Detector Physics, San Diego, (2001)
- [8]. Training in the use of PELAN under Regional Technical Co-operation Project RER/1/005 "Field Testing and Use of Pulsed Neutron Generator for De-mining", Vienna, 2002